

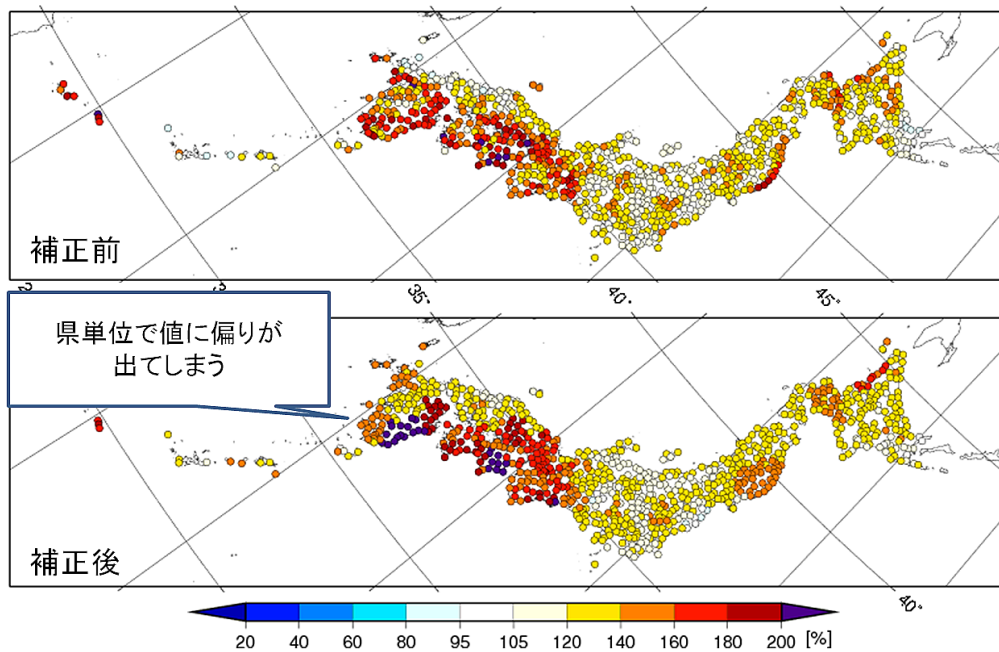


図4.2.13 上位5%降水量に対する、アメダス観測とNHRCM05将来気候の降水量。
上は補正前。下は補正法Bを施した後。

4.3 風の将来変化

地球温暖化による気候変化に伴う日本域周辺の風の変化について、NHRCM05の将来気候の計算結果を用いて検討した。図4.3.1に、現在気候（1980～1999年：赤棒）と将来気候（2076～2095年：緑棒）、及び、気象庁のアメダス観測（灰色棒）による月平均風速を示した。NHRCM05の格子点は、第3章の現在気候の再現性を検討したものと同じ格子点を採用している。アメダス観測とNHRCM05の現在気候の値を比較すると、NHRCM05の方が最大で0.5m/s程度大きな値であるが、アメダス観測の標準偏差内に収まっている。また、季節変化が再現されていることが分かる。

NHRCM05における現在気候と将来気候の月平均風速を比較すると、将来気候における変化は非常に小さい。しかしながら、詳細に調べると夏季と冬季で風の振る舞いがそれぞれ異なる変化をすることが分かった。以下では、夏季（7月、8月、9月）と冬季（12月、1月、2月）における風速と風向の変化を詳細に見る。なお、本節では有意検定としてウェルチのt検定を用いた。

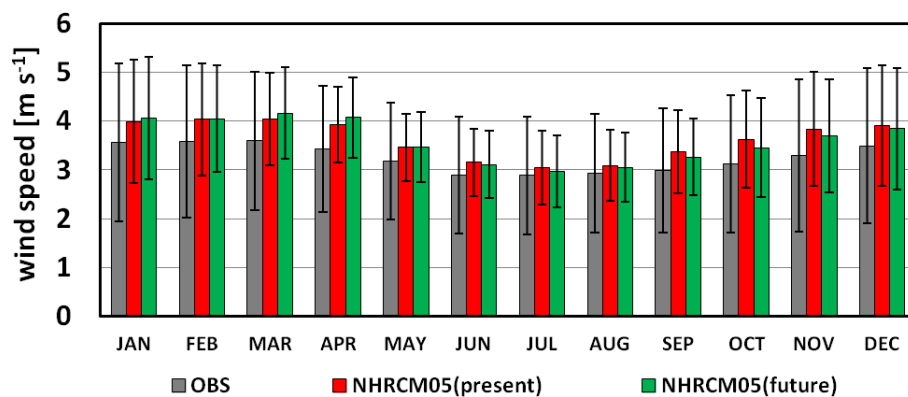


図4.3.1 月平均風速（棒グラフ）と標準偏差（エラーバー）。灰色はアメダス観測。赤はNHRCM05の現在気候。緑はNHRCM05の将来気候。

4.3.1 夏季

夏季における現在気候と将来気候の平均風速の差を図4.3.2aに示した。主な変化として、日本海及び北緯40度以北の太平洋で風速が増加していることが分かる。特に、北海道のオホーツク海でおよそ0.5m/s増加し、これは90%以上有意な変化であった。一方、南西諸島付近では、0.5m/s程度減少しているが有意な変化ではない。

夏季の日本付近における風向の変化は、北緯40度以南の広範囲で西寄りの風が増加し、90%以上有意な変化であることが分かった(図4.3.3a)。本研究においては、西寄りの風は南西～北西の風としている。この原因を調べるために、AGCM20で出力された夏季における現在気候と将来気候の海面気圧の差をみると(図4.3.4a)、将来気候では日本付近への太平洋高気圧の張り出しが弱まる一方で、フィリピン近海では気圧が上昇することが分かる。これらの気圧パターンの変化により、日本付近では南北で気圧傾度が大きくなり、西寄りの風が吹きやすくなると考えられる。

4.3.2 冬季

冬季における現在気候と将来気候の平均風速の差を図4.3.2bに示した。この図によると、北緯40度以北で風速が増大すると予想される。特に、北海道付近においては、0.5m/s以上増大する可能性がある。北海道付近で風速が強まる要因として、温暖化によってオホーツク海の海氷が減少することが挙げられる。図4.3.5は、現在気候と将来気候における北海道付近の地表面(海面)温度の分布である。図4.3.5から、現在気候では海氷に対応する0度未満の領域がオホーツク海に広がっていることが分かるが、将来気候では0度未満の領域がほとんど消滅している。海氷がオホーツク海を覆うと、海氷上に局地的な高気圧が形成され、この高気圧から

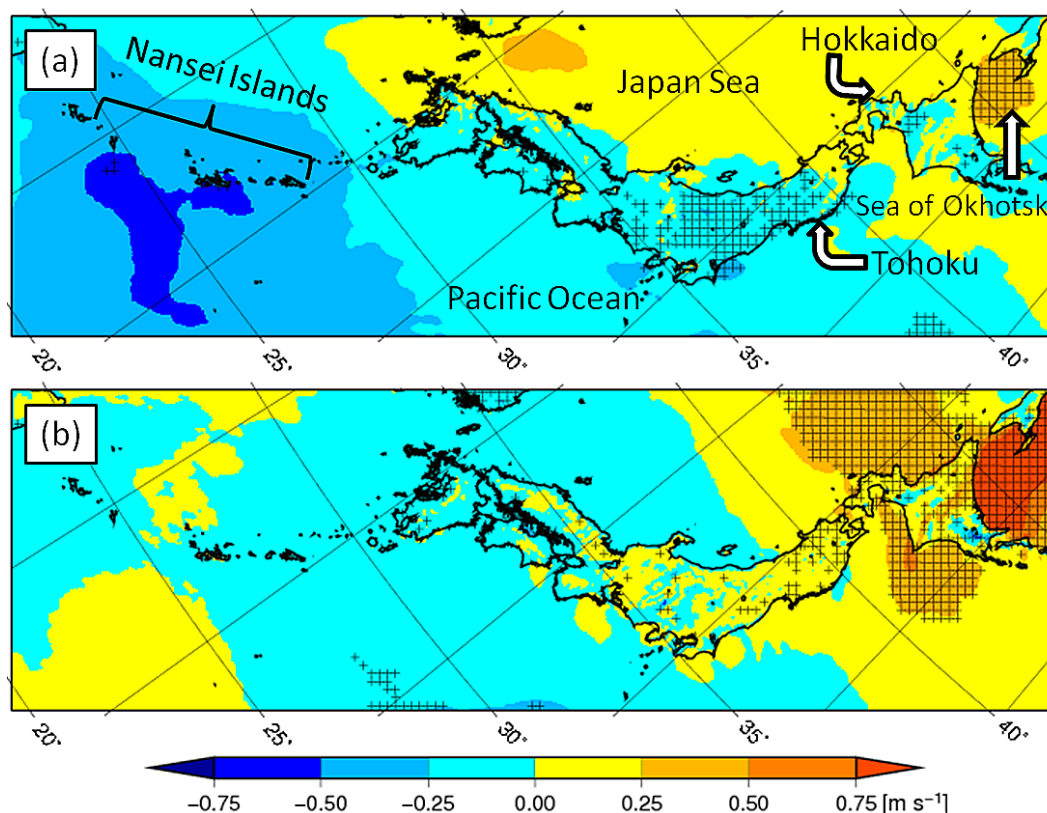


図4.3.2 NHRCM05の計算結果による、年平均風速の現在気候と将来気候の差。(a)は夏季、(b)は冬季。ハッチ部分は、95%で有意な変化を示している。Hanafusa *et al.* (2013) より出典。

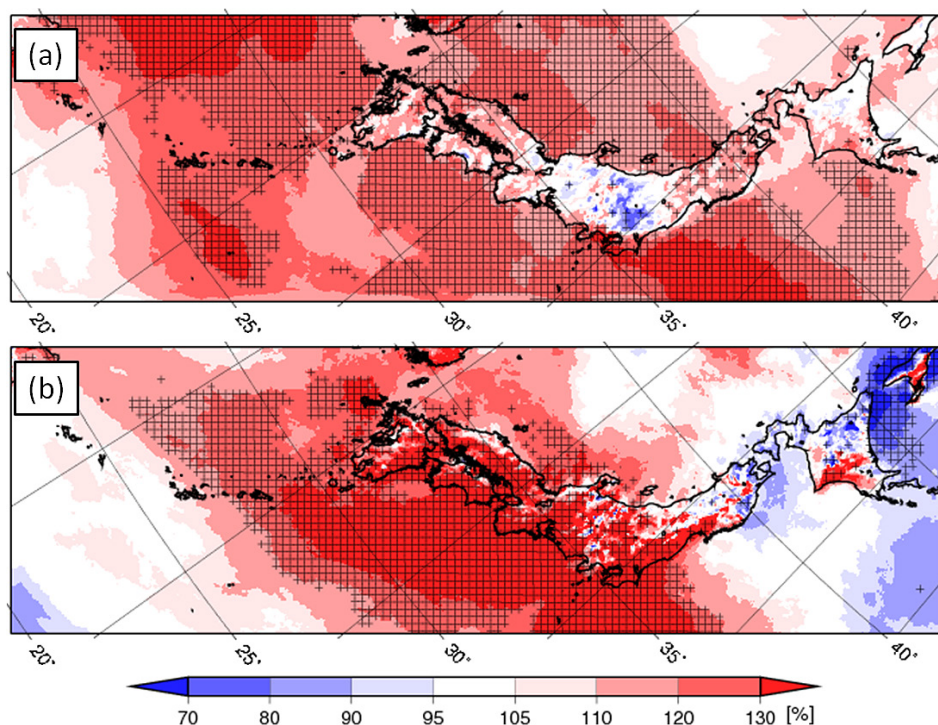


図4.3.3 NHRCM05の計算結果による、現在気候と将来気候に対する風向の変化率。(a)は夏季における西寄りの風の頻度の変化率。(b)は冬季における南東風の頻度の変化率。ハッチ部分は、95%で有意な変化を示している。Hanafusa *et al.* (2013) より出典。

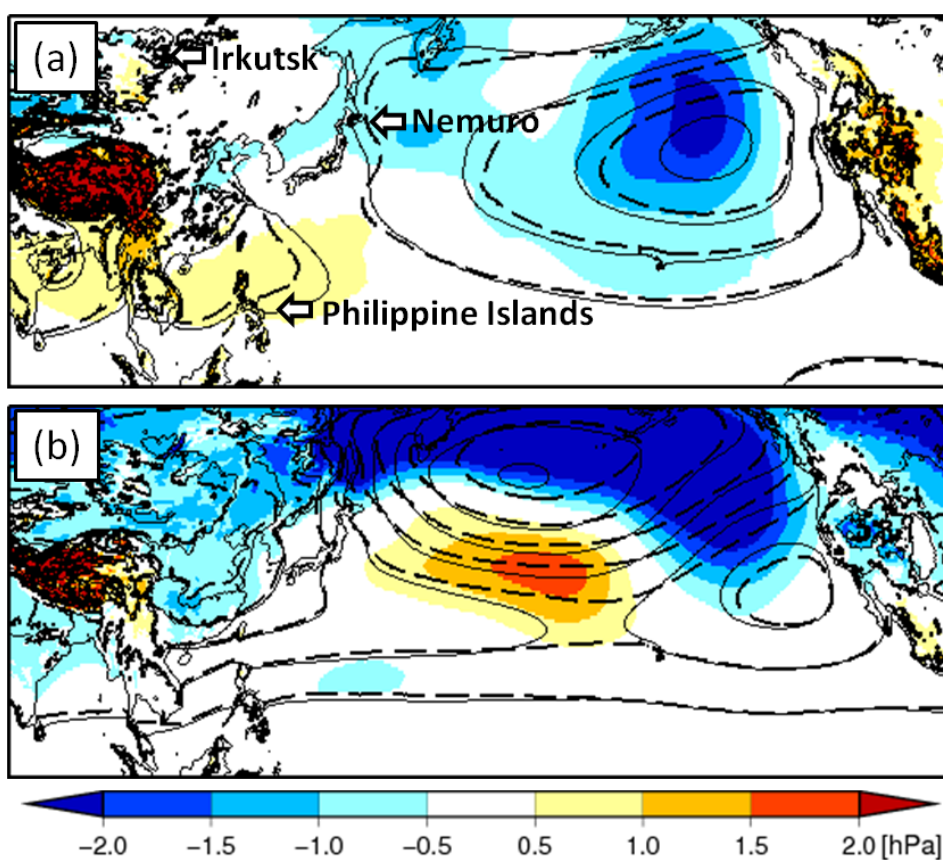


図4.3.4 AGCM20の計算結果による、現在気候と将来気候の海面高度気圧の差（色）。実線は現在気候の海面高度気圧。波線は将来気候の海面高度気圧。実線と波線は、4 hPa 毎に引いている。(a)は夏季、(b)は冬季。Hanafusa *et al.* (2013) より出典。

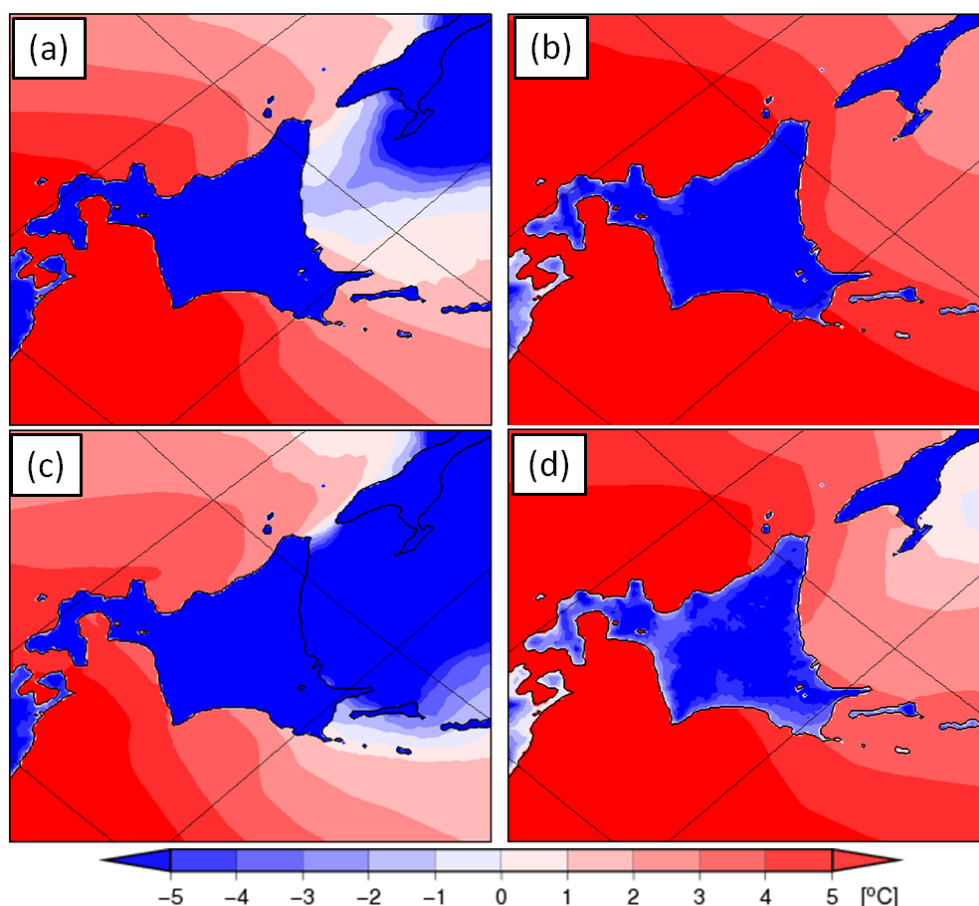


図4.3.5 NHRCM05の計算結果による地表面温度。(a)は現在気候の1月。(b)は将来気候の1月。(c)は現在気候の2月。(d)は将来気候の2月。Hanafusa *et al.* (2013) より出典。

北海道付近に東寄りの風が流入し、一般風である北西風を弱める効果をもたらす。将来気候においてオホーツク海の海水が消滅すると、北西風を阻害する要素がなくなり、現在よりも北海道付近の風が強まると考えられる。また、海水と海面の粗度の違いも、風速に影響を与える（大窪，萬納寺，1994）。さらに、図4.3.4b から、北緯45度以北において、将来気候で地上気圧が大きく減少していることが分かる。Mizuta *et al.* (2011) は、将来気候における冬季中緯度地域の温帯低気圧が強化する可能性を指摘している。このことも、北海道付近の風速の強化の一因であると考えられる。

次に、冬季の風向の変化について見ていく。図4.3.3b は、将来気候における冬季の南東風の頻度の変化を取ったものである。その結果、北緯25～40度の領域で、20～30%南東風が増加することが分かった。この要因を検証するために、Hanawa *et al.* (1988) が考案したモンスーンインデックスを、現在気候と将来気候において12～3月まで計算した。モンスーンインデックスは、根室とイルクーツクの海面気圧差で、日本付近の冬季の典型的な気圧配置の指標となる。その結果、12、1、3月、現在気候と将来気候でほとんど差がなかったのに対して、2月は、現在気候に比べて将来気候では3 hPa 増加することが分かった（表4.3.1）。これは、2月の将来気候においては、現在気候よりも冬型の気圧配置となる頻度が小さいか、もしくは冬型の気圧配置となった際の気圧傾度が弱まること、つまり冬季モンスーンの弱化を示唆する。日本付近は、冬から春に季節が移行する際、日本の南岸を温帯低気圧が多く通過するため、冬に比べて南東風が吹きやすくなる。このことから、将来気候においては、現在気候よりも春の訪れが早まり、南東風の頻度が増加すると考えられる。

表4.3.1 AGCM20の計算結果による現在気候と将来気候のモンスーンインデックス。
Hanafusa *et al.* (2013) より出典。

	present [hPa]	future [hPa]	confidence level [%]
December	16.62	15.45	68.08
January	18.22	19.79	60.98
February	17.26	14.22	97.84
March	10.97	10.79	10.24

4.4 積雪の将来変化

図4.4.1は NHRCM05で計算された積雪深の将来変化量とその信頼確率である。これを見ると、積雪深は全国的に減少すると予測されている。4.2で述べた通り冬期間降水量は増加すると予測されていることから、この積雪の減少は温暖化による気温の上昇が原因と考えられる。しかし、北海道や本州の山岳部では、減少の割合が平野部や南部に比べ少なくなっている。これは、それらの領域では将来気温が上昇しても、冬季には融点よりまだ低いためと考えられる。信頼確率を見るとほとんどの地点で99%以上有意に積雪深が減ることが予測されているが、北海道の中心付近ではごく小さな領域であるが有意に積雪が増えているところがある。これは、将来冬期間降水量が増えるが、気温は上昇してもかなり低いため降水のほとんどが雨ではなく、雪で降るためであると考えられる。

3.4で述べた通り、NHRCM05の積雪再現性は全般的には AGCM20より高いものの、北日本の日本海側では過小評価となっている。そこで、より正確な将来予測を行うためにはバイアス補正を行う必要がある。積雪深は

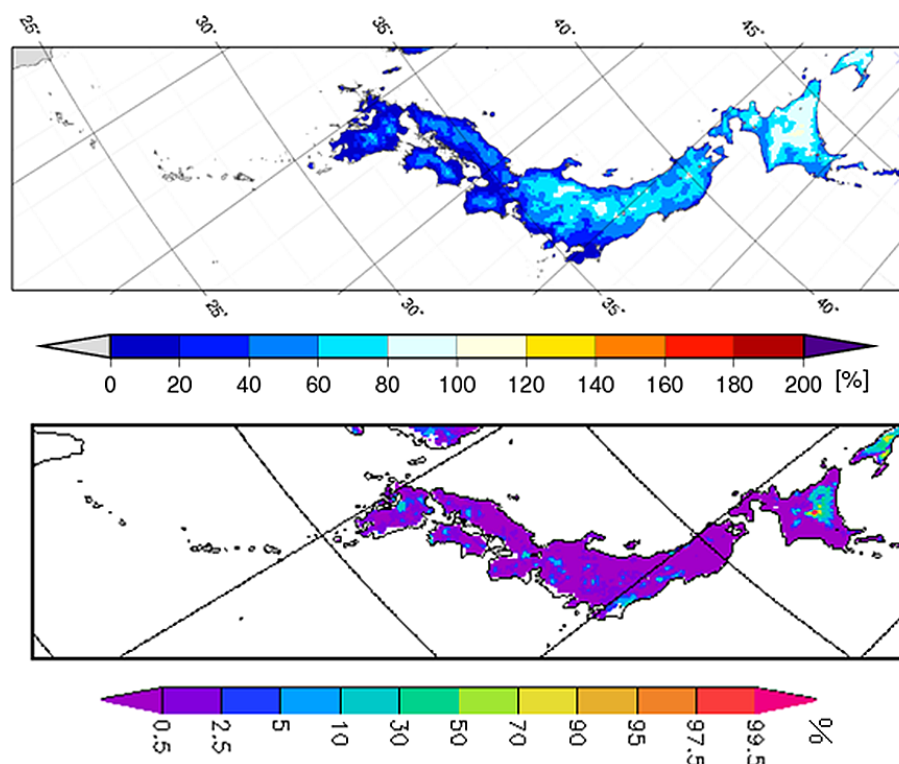


図4.4.1 2月の積雪の将来変化量(上)とその信頼確率(下)。信頼確率の数字は、片側検定で増加を示す確率を表す。50%より数字が大きくなるにしたがって積雪量の増加の確率が高く、小さくなるにつれて減少する確率が高くなる。例えば、99.5%以上の領域は片側検定では有意水準99.5%で積雪量が増加、0.5%以下の領域は有意水準99.5%で積雪量が減少することを意味し、それぞれの領域は両側検定では有意水準99.0%で変化があることを意味する。